

市场环境下的可中断负荷的研究与实践评述(二)

陈振宇¹,崔文琪²,惠红勋²,杨斌¹,栾开宁¹,丁一²

(1. 江苏省电力公司,南京 210024; 2. 浙江大学 电气工程学院,杭州 310007)

Research and practice of interruptible load in the market environment (II)

CHEN Zhen-yu¹, CUI Wen-qi², HUI Hong-xun², YANG Bin¹, LUAN Kai-ning¹, DING Yi²

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310007, China)

摘要:可中断负荷作为一种灵活可靠的需求侧资源,在国内外电力系统均得到广泛的应用。介绍了我国需求侧管理背景下的可中断负荷实践,总结了市场环境下可中断负荷在提供系统备用、阻塞管理、抑制市场力等方面的应用,最后分析了江苏近2年电力体制改革背景下的可中断负荷实践,结合我国新一轮电改的有关政策,分析了发展可中断负荷的潜力、挑战与机遇,并提出了相应的发展建议。

关键词:电力需求侧管理;可中断负荷;市场环境;发展建议

Abstract: Interruptible load (IL) is a kind of flexible and reliable demand side resources, which is widely applied in power system worldwide. This paper introduces implementation of interruptible load in China. In electricity market, IL can be further applied to the aspects such as providing ancillary services, congestion management and restraining the market power. Furthermore, interruptible load implementation in Jiangsu province against the reformation of electric power system is analyzed. According to policies about the reform, suggestions for the further practice of IL are proposed.

Key words: DSM; interruptible load; electricity market environment; development suggestions

中图分类号:TM71 文献标志码:B

可中断负荷(interruptible load, IL)作为兼顾系统可靠性和用户意愿的负荷削减方式,在世界范围内得到广泛的实施,也是我国推广需求响应较为可行的负荷类型之一。美国、加拿大、意大利等国家均较早开展了可中断负荷实践^[1-5],主要以合同方式、竞价方式或其混合模式运行,其实施模式依电力体制及电力市场的发展程度不同而有各自的特点。我国新一轮的电力体制改革为可中断负荷的发展带来新的机遇和挑战。“电改9号文”《关于有序放开用电计划的实施意见》^[6-7]指出,在需求侧管理前期试点的基础上,推广需求响应,参与市场竞争。可中断负荷开始能够以市场竞价等更加灵活

的方式参与系统运行,同时需要适应我国不断变化中的电力供需形势。

目前,很多专家学者已经对适合我国电力体制的可中断负荷实施模式做出了探索和研究。文献[8]针对当前电力市场建设的初期,我国价格机制相对固定导致电价不能反映实际的用电成本信息的现状,提出根据可靠性指标进行中断的中断方式,从而与传统的调度规程相契合。文献[9]在文献[8]的基础上,具体分析了现行电力市场的可中断合同及合同各要素的制定依据,根据我国电力系统结构及用电特性,提出停电持续时间为4 h和8 h 2类、有效期6个月、最小切除容量为0.5 MW的我国可中断负荷合同。文献[10]提出组合电价机制,将我国现行的尖峰电价、分时电价、高可靠电价、新能源电价在内的电价与可中断电价进行组合,利用可中断电价对原来价格机制下具有调节潜力而没有起到调节作用的负荷实施价格引导,增大需求侧的价格弹性。但是,现有研究的时间背景大部分是我国有序用电政策下的可中断负荷,对电力市场改革背景下的可中断负荷实施缺乏足够的分析。

本文首先介绍了我国有序用电政策下的可中断负荷实践,然后总结了市场环境下可中断负荷在提供备用、缓解输电阻塞和抑制发电商市场力方面的应用,最后结合“电改9号文”及电改背景下的江苏需求响应实践,为市场环境下我国可中断负荷的

收稿日期:2016-11-06

基金项目:国家重点研发计划(2016YFB0901103);国家自然科学基金项目(51537010);国网江苏省电力公司项目(客户需求响应的研究与应用)

作者简介:陈振宇(1973),男,浙江宁波人,从事电力营销及电力需求侧管理等工作;崔文琪(1994),女,江苏连云港人,硕士研究生,研究方向为电力市场及需求侧管理;惠红勋(1992),男,河北邯郸人,博士研究生,研究方向为电力市场及需求侧管理;杨斌(1977),男,江苏常州人,高级工程师,从事电力营销及电力需求侧管理等工作;栾开宁(1973),男,山东烟台人,高级工程师,从事电力营销、智能用电等工作;丁一(1978),男,浙江杭州人,工学博士,教授、博士生导师,国家第五批“青年千人计划”入选者,研究方向为智能电网、复杂多状态工程系统可靠性、电力系统规划与可靠性评估和电力经济等。

发展提供建议。

1 我国有序用电政策下的可中断负荷实践经验

1.1 台湾地区的可中断电价体系

台湾地区较早开始可中断负荷的研究和实践,在可中断负荷管理方面已经形成较为成熟的实施机制。可中断电价的实施对象主要是冶金、水泥、塑料、纤维、纺织、化工等耗电密集、产品易于储存、工艺流程灵活的电力大用户^[11]。

台湾电力公司于1979年推行需求侧管理,1987年推出可停电力电价,在尖峰负荷时段引导大用户减少或暂停部分用电,给予优惠的电价折扣。2006年可停电力电价更名为“系统尖峰时间用户配合减少用电优惠电价”,形成一套多季节、多时段、灵活完整的可中断电价体系。

可中断电价依据中断时间是否固定分为计划型和临时型2类。计划型是在合同规定的固定时间中断供电的方式,中断方案根据电力公司全年负荷预测、生产检修计划及用户实际生产情况制定,对用户的正常生产效益影响较小。临时型是在突发状况下系统备用不足时提前下达中断指令,电费扣减依据提前通知时间和中断容量制定,平均扣减额度较计划型更高。

1.2 江苏可中断负荷试点

2002年,江苏省在全国率先开展可中断负荷试点工作,在夏季用电高峰期对5家钢厂试行中断负荷错峰措施^[12]。全年实际错峰共10天,15次,28h,错峰负荷约40万kW。2003年,江苏电网夏季高峰负荷缺口约200万kW,苏州、无锡、南京等6市的12家钢厂参加实施可中断方案^[13-15],包括苏州沙钢集团、无锡兴澄钢铁集团、南京钢铁公司等,可中断负荷削减80万kW。实施细节如下。

(1) 准入要求:可中断容量必须在3万kW以上。

(2) 补偿办法:每个中断负荷企业补偿额度按照1万元/万kWh×累计中断负荷量(累计中断负荷量=∑中断负荷×中断时间),每次不足1h按1h计算。全年补偿支出共785万元。

(3) 企业的生产特性必须能满足可中断用电要求,服从电网调度的错峰要求。

1.3 河北实施可中断负荷管理实践

2003年,河北省制定《河北省南部电网可中断负荷补偿办法》^[16],在夏季用电晚高峰时期,即7月1日至8月31日,根据电网调峰需要,实施可中断负荷管理及补偿办法,解决了30万kW的缺口^[17],实施细节如下。

(1) 准入要求:可中断容量一般应在2万kW及

以上。

(2) 监管及处罚方式:违反中断合同规定,不执行电力调度中断命令的企业,按违约负荷检测记录值乘以3~5倍电价计算款额进行处罚。

(3) 补偿标准:对中断负荷企业给予每1万kW中断1h补偿1万元。

(4) 通知时间:省电力公司调度通信中心及各市电力调度通信中心至少在中断负荷前1h通知中断负荷企业。

1.4 其他省市可中断负荷实践

2007年,北京地区电力最大负荷达到1300万kW,电力最大负荷在高峰情况下存在20万kW缺口。为解决电力缺口,对电力重载地区有避峰潜力的用户在短时间内采取“可中断负荷补偿”限电措施,以1.00元/kWh的标准进行中断补偿^{[18][19]}。

上海地区将可中断负荷作为紧急备用负荷,配合全市错峰、避峰用电^[20]。补偿额度与避峰时间、提前通知时间相关。避峰补偿电价标准为:隔日通知避峰补偿0.30元/kWh,当日通知避峰补偿0.80元/kWh,随时可中断用电补偿2元/kWh。目前峰谷比价为4.5:1,这个比价使避峰让电的企业提高了避峰的积极性^[21]。

2 电力市场环境下的可中断负荷的应用

目前,可中断负荷在我国主要作为调峰资源得到广泛的应用。综合其他国家可中断负荷项目实施以及理论研究,在市场环境下,可中断负荷还可用于辅助备用、阻塞管理、与发电商的博弈或合作等多个领域。

2.1 辅助备用

可中断负荷具有较快的响应速度和相对较低的成本,在提前签订合约的条件下,可以较为可靠的提供系统备用。许多国家已建立了独立竞价的备用市场,并且允许可中断负荷参与市场的竞争^[22-24]。

将IL引入辅助备用体系需要考虑提前通知时间、负荷地理位置、负荷功率因数等问题。文献[25]—文献[28]优化了IL合同设计及实时选择模式,计及IL的特殊性及用户的多重特征,证明了IL是一种可行有效的辅助备用资源。针对可中断负荷与发电商提供备用服务的不同性质和效用,文献[29]提出了可中断负荷与发电商同时参与的备用市场的帕累托优化模型。文献[30]需求侧的IL容量视为一种广义的紧急备用资源,并且建议对低电价可中断负荷(interruptible load with low price, ILL)和高补偿可中断负荷(interruptible load with high compensation price, ILH)采用与发电侧备用容量(reserve capacity of generation side, RCGS)类似的市

场机制和规则,并按不同等级的供电可靠性分别竞价。与通常的可中断远期合同不同,在紧急备用的调用下签订可中断运行合同,交易的对象是可中断权,并且可以不预先通知用户。此外,文献[31]引入了秒级可中断负荷(seconds level interruptible load, SIL)的概念,考虑系统突发扰动后,通过市场手段激励SIL参与秒级调频备用,保持频率稳定,有一定借鉴意义。

2.2 阻塞管理

输电阻塞是电网中线路潮流达到其容量极限的现象,通常通过调整发电机出力或削减负荷实现^[32-35]。IL是削减负荷的一种可靠且顾及到用户满意度的方式。由于负荷侧资源的多变性以及阻塞与负荷的双重复杂性,目前可中断负荷在阻塞管理中的应用尚处于起步阶段。

文献[36]提出了计及IL的阻塞管理的框架,直接利用IL削减负荷消除对应断面的输电阻塞,在日常和紧急情况下均能够有效地应用。文献[37]讨论了在可中断负荷参与阻塞管理机制下,根据负荷的价格弹性,通过市场供需关系确定阻塞区域电价的方法。文献[38]针对系统层资源优化调用以及IL资源优化选择的目标设计双层优化模型,并且将Levenberg-Marquardt算法运用到模型的求解。文献[39]提出了一种基于模糊理论隶属度的多目标线性优化算法来消除阻塞,比单目标更具有综合优势。

2.3 与发电商的博弈或合作

在较少市场参与者、同时较小系统总发电容量的裕度的情况下,发电商可能通过容量持有和策略性的报价滥用市场力,强制抬升电价,造成整体社会效益的下降^[40]。可中断负荷通过削减负荷,相当于一种虚拟的发电资源,能够与发电商进行博弈,促进发电侧市场的有效竞争。

文献[41]采用条件风险价值CVaR研究供电公司从电力批发市场的购电量决策和从可中断用户中购入的可中断数量决策,表明可中断负荷是供电公司规避电力批发市场价格波动的有效工具。文献[42]求解了分布式发电与可中断负荷同时参与下市场贝叶斯纳什均衡,证明占整体负荷份额较小的分布式电源与可中断负荷的加入能够大幅提高供电公司收益,提高市场竞争充分性。同时,由于市场参与者决策时需要综合考虑可中断负荷选择的不完全信息带来的风险及形成的各种可能的市场环境,从而能够减少市场电价的波动,维护市场平稳运行。

3 我国新一轮电力体制改革下的可中断负荷发展建议

3.1 江苏电网需求响应实践下的可中断负荷

2015年6月份江苏省经信委、省物价局出台了《江苏省电力需求响应实施细则》^[43],对用户申报条

件、启动原则、工作流程、补贴办法、各方权责等需求响应全过程进行了规定,较早对我国需求响应工作展开了试点实践。

江苏需求响应分为日前通知的约定需求响应和由电网公司控制后通知的实时需求响应2种类型,具体实施方式如下。

(1) 约定需求响应

约定需求响应主要面向广大工业用户,根据与用户签订的响应协议,提前通知用户在电网需要的时段组织短时避峰,根据响应协议和实际响应负荷,用户可获取响应激励。约定需求响应主要针对可预知的电网调控需求,响应具备计划性,便于用户安排生产和负荷集成商组织实施。

(2) 实时需求响应

实时需求响应主要面向可调节、可中断负荷(例如非工业用户的空调负荷,工业非生产、辅助生产负荷等),是具备自动需求响应能力的用户负荷。在电网存在快速响应或紧急调控需求时,可由电网企业直接调用该部分负荷资源,在调控后告知用户调控结果,并根据响应协议和实际响应量向用户提供响应激励。该部分负荷具备紧急调控和响应能力,可用于特定场景或弥补约定需求响应的偏差。

综合2种实施方式可以看出,目前江苏需求响应实践的参与用户实质为广义上的可中断负荷,依据其响应方式的不同划分为约定和实时需求响应2种类型。在当前我国电力市场建设以及需求响应实践的起步阶段,此种划分方式具有较大的可行意义。在此划分方式下可以根据可中断负荷的补偿方式及中断特点做出细分,制定更加科学的需求响应实施方案,可中断负荷在当前需求响应框架下的参与方式总结如表1所示。

表1 可中断负荷在当前需求响应项目中的参与方式

| 参与方式 | 适用用户类型 | 合同类型 |
|--------|---------------------------|---------|
| 约定需求响应 | 在一定的提前通知时间下满足容量准入要求的可中断负荷 | 可中断远期合同 |
| 实时需求响应 | 具备实时自动需求响应能力的可中断负荷 | 可中断运行合同 |

2015年8月4日,江苏省电力公司通过电力需求侧管理平台邀约了申请需求响应的全部557家用户和8家负荷集成商(签订协议586家),实际参与用户513户和集成商8家,邀约负荷162.74万kW,实际减少负荷165.77万kW^[44]。

2016年江苏省首次启动全省范围内电力需求响应,参与用户达3154户,其中1283户工业用户、1550户非居民空调用户和321户居民用户。此次需求响应实际响应负荷352万kW,其中工业负荷响

应 331 万 kW, 空调负荷响应 21 万 kW, 有效降低电网峰谷差 18.47%。

实施成效表明, 用户侧资源具有极大的响应潜力并且具有多时间尺度的响应能力, 当前的研究和实践可以在提升用户积极性和挖掘用户响应潜力方面做出进一步的探索。

3.2 与电改方案相契合的可中断负荷发展规划建议

“电改 9 号文”配套文件《关于有序放开用电计划的实施意见》, 指出了逐步建立有序竞争电力运行机制的规划和意见。其中, 在逐步推进完善电力市场建设方面, 初期实行峰谷电价, 鼓励用电双方提供负荷曲线; 中期要求发用电双方提供负荷曲线, 但不严格要求兑现, 努力实现电力基本匹配; 后期, 所有卖电方均需提供预计出力曲线, 所有买电方均需提供预计用电曲线。在用电逐步放开方面, 现阶段可以放开 110 kV (66 kV) 及以上电压等级工商业用户、部分 35 kV 电压等级工商业用户参与直接交易。下一步完全放开全部 35 kV 及以上电压等级工商业用户, 甚至部分 10 kV 及以上电压等级工商业用户参与, 甚至允许所有优先购电的企业和用户自愿进入市场。

可中断负荷实践应与我国电力市场建设情况相契合并随之而发展。当前, 在已有需求响应经验的基础上, 加强需求响应基础设施建设, 使得负荷侧具有多时间尺度的响应能力。在电力市场发展初期, 以合同方式实施可中断负荷项目。随着电力市场的发展, 逐步引导用户提供负荷曲线, 逐步放开各电压等级用户参与市场竞争, 采用合同与竞价相结合的方式, 如图 1 所示。

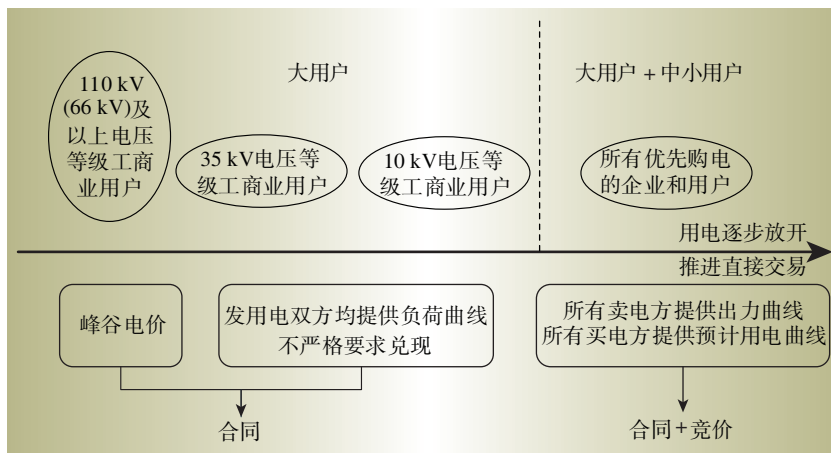


图 1 可中断负荷发展规划建议

3.3 各规划阶段下可中断负荷项目实施建议

在电力市场尚未开放或发展初期, 延续目前江苏电网的实施模式, 即依据提前通知时间及用户响应速度的不同将需求响应进行划分。在当前约定需求响应和实施需求响应 2 种类型的基础上, 参考台湾已有经验, 逐渐细化为多季节、多时段的可中断负荷项目。

随着可中断负荷体系逐渐完善, 允许多时段、多频次的调用后, 将可中断负荷纳入系统备用、阻塞管理体系中, 充分利用可中断负荷的响应能力, 协助系统的经济可靠运行。

待电力市场发展较为成熟后, 逐步引入需求侧资源参与市场竞争, 与发电商进行博弈, 促进发电侧市场的有效竞争, 维护市场的平稳运行。此外, 在市场环境下修正可中断负荷的成本信息, 完善可中断负荷的定价和补偿体系。

4 结论

可中断负荷是实现需求侧主动响应的重要终端, 本文从实践层面对可中断负荷进行了探讨, 主要结论如下。

(1) 我国多省市已开展较大规模的可中断负荷实践, 均采用合同方式, 且主要针对削峰目标进行应用, 证明了可中断负荷具有巨大的负荷调节能力。

(2) 可中断负荷在作为调峰资源外, 还可以有多方面的应用, 包括提供辅助备用, 阻塞管理、与发电商博弈或合作等等, 因此, 可以逐步将可中断负荷引入多重的应用场景, 充分挖掘可中断用户参与系统运行的潜力。

(3) 江苏自 2015 年起, 已进行了以可中断负荷为主要组成的需求响应实践, 积累了丰富的经验。在电力市场改革的背景下, 可中断负荷的实践应与电改进程相契合, 逐步放开各电压等级用户参与市场竞争, 引导用户提供负荷曲线, 参与市场竞争。

(4) 市场环境下可中断负荷的发展面临着新的机遇与挑战。在不同的市场环境下, 如何充分将可中断负荷纳入系统的运行, 如何进行可中断负荷的定价和补偿, 需要进行深入的研究和进一步的实践探索。D

参考文献:

- [1] Koliou E, Eid C, Chaves-vila J P, et al. Demand response in liberalized electricity markets: Analysis of aggregated load participation in the German balancing mechanism [J]. Energy, 2014, 71(1):245-254.
- [2] NYISO-DSM Focus Group. Treatment of Distributed Resources: The Accommodation of Price Sensitive Load, Interruptible Load, Dispatchable Load. Distributed Generation and Intermittent Generation in the New York Electricity Market [EB/OL]. (1998-07-14) [2016-11-06]. <http://www.nyiso.com>.
- [3] Power Pool of Alberta. Voluntary Load Curtailment Program [EB/OL]. (1998-03-03) [2016-11-06]. <http://www>.

- Powerpool.com.
- [4] 张涛,宋家骅,程晓磊.可中断负荷研究综述[J].东北电力技术,2007,28(6):46-49.
- [5] 李海英.需求侧参与输电阻塞管理的模型与算法研究[D].上海:上海大学,2007.
- [6] 中共中央、国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见(中发[2015]9号)[Z/OL].(2016-03-20)[2016-11-06].<http://www.ne21.com/news/show-64828.html>.
- [7] 国家发展改革委、财政部关于完善电力应急机制做好电力需求侧管理城市综合试点工作的通知(发改运行[2015]703号)[Z/OL].(2016-03-20)[2016-11-06].http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201504/t20150409_677004.html
- [8] 王建学,王锡凡,张显,等.电力市场和过渡期电力系统可中断负荷管理(二)——可中断负荷运营[J].电力自动化设备,2004,24(6):1-5.
- [9] 王建学,王锡凡,王秀丽.电力市场可中断负荷合同模型研究[J].中国电机工程学报,2005,25(9):11-16.
- [10] 周渝慧.论组合电价在国家能源战略中的平衡机理[J].中国能源,2004,26(7):21-24.
- [11] 肖欣,周渝慧,郑凯中,等.台湾实施可中断电价进行削峰填谷的需求响应策略及其成本效益分析[J].中国电机工程学报,2014,34(22):3 615-3 622.
- [12] 王蓉蓉.可中断负荷管理的激励机制研究[D].北京:北京交通大学,2008.
- [13] 陈长胜.可中断负荷项目中的定价问题及实施机制[D].北京:华北电力大学,2008.
- [14] 刘秋华,王昊旻.南京市实施电力需求侧管理潜力及对策研究[J].南京工程学院学报(社会科学版),2015,15(1):41-45.
- [15] 裴志刚.建立可中断负荷激励机制缓解用电高峰期电力紧张[J].浙江电力,2011,30(12):12-15.
- [16] 郭大建.河北省电力需求侧管理长效机制的实践探索[J].电力需求侧管理,2007,9(6):59-60.
- [17] 方耀明,王冬利,宋宏坤.6省市2003年迎峰度夏调研分析[J].电力需求侧管理,2003,5(5):3-7.
- [18] 张志强,徐长凯,闫璐明,等.广东工业用户实施可中断负荷的方案设计[J].中国电力教育,2006(S2):165-167.
- [19] 国家电网公司.北京今夏电力存在20万千瓦缺口限电单位可获政府补偿[EB/OL].(2007-05-31)[2016-11-06].<http://www.sgcc.com.cn/xwzx/nyzx/58200.shtml>
- [20] 上海市经委,上海市发展改革委.关于做好本市今冬明春电力供应工作的意见(沪府办发[2004]1号)[Z/OL].(2004-01-04)[2016-11-06].http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201504/t20150409_677004.html
- [21] 国家发展改革委.我委关于疏导华东电网电价矛盾有关问题的通知(发改价格[2004]1039号)[Z/OL].(2004-06-08)[2016-11-06].http://www.sdpc.gov.cn/fzggz/jggz/zcfb/201412/t20141219_654741.html
- [22] Quan S S, Cao J, Chen X H. Research on interruptible load management in power market [C] // Electricity Distribution (CICED), 2014 China International Conference on. IEEE, 2014:1 127-1 130.
- [23] Sun X, Tong M G, Zhao Q B, et al. A study on management model of secondary reserve for ancillary services market [J]. Proceedings of the Csee, 2004(3):35-38.
- [24] 葛炬,张粒子.可中断负荷参与的备用市场帕累托优化模型[J].电力系统自动化,2006,30(9):34-37.
- [25] Tuan L, Bhattacharya K. Interruptible load management within secondary reserve ancillary service market [C] // Power Tech Proceedings, IEEE Porto. 2001(1):6.
- [26] 孙昕,童明光,赵庆波,等.二级备用辅助服务市场中可中断负荷管理模型研究[J].中国电机工程学报,2004,24(3):30-33.
- [27] Bhattacharya K, Bollen M H J, Daalder J E. Real time optimal interruptible tariff mechanism incorporating utility-customer interactions [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(2):700-706.
- [28] Wang J, He Y. Study on Model of Interruptible Load to Participate in Reserve Market [C] // Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific. 2009:1-4.
- [29] 罗运虎,薛禹胜, Gerard LED WICH,等.低电价与高赔偿2种可中断负荷的协调[J].电力系统自动化,2007,31(11):17-21.
- [30] 薛禹胜,罗运虎,李碧君,等.关于可中断负荷参与系统备用的评述[J].电力系统自动化,2007,31(10):1-6.
- [31] 都亮,刘俊勇,田立峰,等.电力市场环境下载级可中断负荷研究[J].中国电机工程学报,2008,28(16):90-95.
- [32] Fang R S, David A K. Transmission congestion management in an electricity market [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1999, 14(3):877-883.
- [33] Yamin H Y, Shahidepour S M. Transmission congestion and voltage profile management coordination in competitive electricity markets [J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2003, 25(10):849-861.
- [34] 赵彩虹,黎平.输电阻塞管理中考虑用户支付意愿的综合方法[J].中国电力,2005,38(6):20-23.
- [35] 李海英,李渝曾,张少华.一种激励相容的输电阻塞管理模型[J].中国电机工程学报,2006,26(19):36-40.
- [36] Le A T, Bhattacharya K, Daalder J. Transmission congestion management in bilateral markets: An interruptible load auction solution [J]. Electric Power Systems Research, 2005, 74(3):379-389.
- [37] 杨炳元,吴集光,刘俊勇,等.计及可中断负荷影响的阻塞管理定价模型研究[J].电网技术,2005,29(9):41-45.
- [38] LI Hai Ying, LI Yu Zeng, Zhang S H. Model and Algorithm of Transmission Congestion Management Based on Interruptible Load [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(10):17-21.
- [39] 毛伟明,周明,李庚银.多时段下计及可中断负荷的电网输电阻塞管理[J].电网技术,2008,32(4):72-77.
- [40] 周春明,江辉,何禹清,等.可中断负荷参与阻塞管理的多目标模糊优化[J].电网技术,2008,32(9):27-32.
- [41] 安学娜,张少华,王晔.基于CVaR的可中断负荷管理决策模型[C] // Chinese Control and Decision Conference. 2010.
- [42] 杨彦,陈皓勇,张尧,等.计及分布式发电和不完全信息可中断负荷选择的电力市场模型[J].中国电机工程学报,2011,31(28):15-24.
- [43] 江苏省经信委.关于印发《江苏省电力需求响应实施细则》的通知(苏经信电力[2015]368号)[Z/OL].(2016-03-20)[2016-11-06].http://www.jseic.gov.cn/xwzx/gwgg/gwfb/201506/t20150625_162408.html.
- [44] 李斌,顾国栋.江苏电力负荷管理的创新及实践[J].电力需求侧管理,2015(5):1-4.